

以加入徑向速度場資訊的TREC技術反演颱風風場

李冠賢¹ 秦新龍¹ 林博雄²

中央氣象局墾丁氣象雷達站¹

台灣大學大氣科學系²

摘要

為滿足颱風強度監測作業需要，基於運算快速的考量，我們以TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation) 方法為基礎，發展一種適用於濱海都卜勒雷達反演颱風風場的方法M-TREC (Modified TREC)，M-TREC係由傳統TREC求得相關係數矩陣與徑向速度場求得之權重矩陣 (Weighting Matrix) 共同決定風場向量。反演風場結果與無人飛機探空 (Aerosonde) 2004年6月9日觀測康森颱風之風速資料比較結果顯示，M-TREC較傳統TREC風速誤差小。此外，M-TREC應用在不同颱風的觀測區及其雨帶也較傳統的TREC方法能得到更為合理的結果。

一、前言

1897至2004年共有384個颱風侵襲台灣地區，每年平均約3至4個，而根據多數路徑的統計約60%的颱風來自南方洋面，為及早監測颱風動態，中央氣象局在2001年建置完成台灣地區都卜勒氣象雷達觀測網，其中墾丁雷達站即設置在台灣最南端，2001至2004年墾丁雷達站觀測颱風個數已多達19個。本文企圖發展一種適合濱海都卜勒雷達反演颱風風場的方法，以滿足颱風強度監測作業的需要，基於計算快速的考量，我們選擇了TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation) 方法。

直觀來看，當我們注視一連串雷達回波動畫時，肉眼常可察覺回波隨環境風場正以某一速度移動，若透過統計學中的相關分析將此移動速度量化，即所謂的TREC方法。TREC方法首次被提出 (Rinehart and Garvey 1978) 係用於估測風暴區內的運動，使得傳統 (non-Doppler) 雷達估測風場成為可行，但TREC估測的風向量是由回波型態的運動決定，而回波型態則是由其上空落下的降水質點所構成，因此，嚴格說來TREC估測的風向量係反映降水區移動的速度，與都卜勒雷達直接測量瞬間氣流的徑向分量有所不同，所以TREC方法並不適用於場垂直風切較大的環境。而後在垂直風切弱的前提下，Tuttle and Gall (1990) 則在晴空時追蹤回波不均勻特徵及昆蟲造成的回波等，成功地運用TREC方法估算雷達觀測半徑100公里內行星邊界層的水平風場。根據過去實際觀測發現颱風低層垂直風切較小，因此 (Tuttle and Gall, 1999) 開始運用TREC方法估算颱風低層風場，經與飛機及地面觀測資料比對，得到相當合理的結果，但他們也指出在颱風眼牆區的估算結果仍有改進的空間。由於TREC方法處理資料多為直角網格式，如果針對颱風眼牆

區特別採弧形 (arch-shaped) 分割，可改善眼牆區風場估算結果，但比較麻煩的是必須先決定颱風中心 (Harasti et al. 2004)。

以TREC方法估算颱風風場的優點是只需處理雷達回波資料，此外估算範圍最大可達半徑350公里左右，但是隨都卜勒雷達問世，徑向風場資料是否對TREC方法有所幫助？尤其是在颱風眼牆區及雨帶，能否藉由徑向風場資訊的加入輔助風場的估算將是本文深入探討的重點。

二、研究方法

TREC (Tracking Radar Echoes with Correlation) 方法是利用交互相關 (Cross-Correlation)，即針對兩張不同的雷達回波影像作相關性質的分析，求出的TREC向量場可被視為風場的近似結果。

根據墾丁雷達目前所使用的掃描策略，每8分鐘執行以下掃描，首先以2個低仰角 (仰角0.5及1.4度) 採低PRF (349Hz) 掃描半徑達460公里；其次，以9個仰角 (仰角自0.5、1.4度，直到19.5度) 採dual PRF (625及469 Hz) 掃描半徑達230公里。本研究使用間隔70秒的低PRF及dual PRF低仰角回波資料，以TREC方法估算颱風風場。

都卜勒雷達可直接測量瞬間氣流的徑向分量，每一徑向風速值代表該點實際風向量在徑向 (以雷達為中心) 上的投影，負值 (正值) 是接近 (遠離) 雷達，由上述特性可知該點所有可能的實際風向量的終點應落在一直線上。

利用上述特性，我們依每一格點的徑向風速值製造一人為的權重矩陣，以實際風向量終點所在值線上權重係數為最高 (數值為1) 按高斯分布 (Gaussian distribution) 向兩旁遞減，將此矩陣與利用雷達回波資料計算相關係數矩陣相

乘，乘積數值最高者即為M-TREC向量的終點。傳統的TREC向量僅由相關係數矩陣決定；而M-TREC向量的終點則是由權重係數矩陣與相關係數矩陣共同決定。為避免受雜訊影響，風場前置處理我們濾除雜波（Spikes）。

無人飛機探空（Aerosonde）是一種介於飛機與氣球探空（Radiosonde）兩種常用大氣探測工具的折衷方案，它具備了飛機長程飛行以及氣球可拋棄的優點。2004年6月8日2310Z在臺灣無人飛機探空團隊（TAT，Taiwan Aerosonde Team）操控下由恆春機場起飛，維持巡航高度約1500公尺向東南進入康森颱風螺旋雨帶，6月9日0154Z飛機在墾丁雷達站東南方90公里處失聯，Aerosonde飛行路徑如圖1。本研究利用無人飛機探空蒐集到2小時的氣象資料與傳統TREC及M-TREC反演結果進行比對，以了解兩種方法的誤差。

三、結論

為比較加入風場資訊對TREC方法造成的影響，我們選取2003年9月1日杜鵑颱風個案（如圖2），它具有同心眼牆結構，內眼牆直徑約40公里，最大風速80 m/s，我們分別以傳統TREC與M-TREC兩種方法估算內眼牆風場，圖3a是以傳統TREC方法估算結果，不但無法顯示出氣旋式環流，風速也明顯低估；圖3b則是M-TREC方法估算結果，眼牆區風場呈氣旋式結構，最大風速為77m/s也和雷達觀測值相近。

利用康森颱風期間無人飛機探空觀測資料與傳統TREC及M-TREC方法比較的結果顯示，傳統TREC估算風向的RMS誤差為28.91度，風速RMS誤差為10.68m/s；M-TREC方法RMS誤差為30.27度，風速RMS誤差為5.00m/s。就風速估算而言，M-TREC方法估算結果較接近無人飛機探空觀測值；但目前仍不清楚，為何估算的風向與飛機觀測風向差異較大。

經由傳統TREC與M-TREC反演結果的比較，顯示後者能獲得更為合理的風場。受地形雜波影響較少的濱海雷達，如墾丁雷達，以M-TREC方法監測颱風強度應屬可行，圖4為康森颱風反演風場，未來將M-TREC即時作業化將是墾丁雷達須面臨的挑戰。

四、參考文獻

Rinehart, R. E., and E.T. Garvey, 1978: Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, **273**, 287-289.

Tuttle, J., and R. Gall, 1999: A single-radar technique for estimating the winds in tropical cyclones. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 653-668.

Smythe, G. R., and D. S. Zmić, 1983: Correlation analysis of Doppler radar data and retrieval of horizontal wind. *J. Climate and Appl. Meteor.*, **22**, 297-311.

Tuttle, J. D., and G. B. Foote, 1990: Determination of the boundary layer air-flow from a single Doppler radar. *J.*

Atmos. Ocean.Tech., **7**, 218-232.

Holland, P. J. Webster, J. A. Curry, G. Tyrell, D. Gauntlett, G. Brett, J. Becker, R. Hoag and Vaglient, 2001: The Aerosonde robotic aircraft: a new paradigm for environmental observations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 889-902.

Harasti, P. R., C. J. McAdie, P. P. Dodge, W.-C. Lee, S. T. Murillo, and F. D. Marks, Jr., 2004: Real-time implementation of single-Doppler radar analysis methods for tropical cyclones: Algorithm improvements and use with WSR-88D display data. *Wea. Forecasting*, **19**, 219-239.

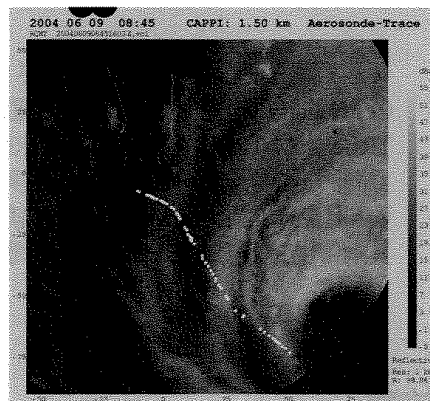


圖 1 康森颱風期間Aerosonde飛行路徑（點線），底圖為93年6月9日0045Z的雷達回波。

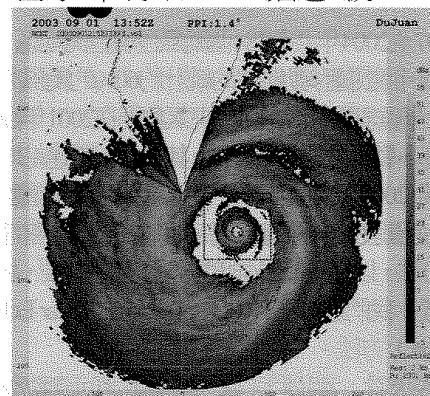


圖 2 具有同心眼牆結構的杜鵑颱風。對內眼牆區（虛線範圍）分別以傳統TREC及M-TREC反演風場。

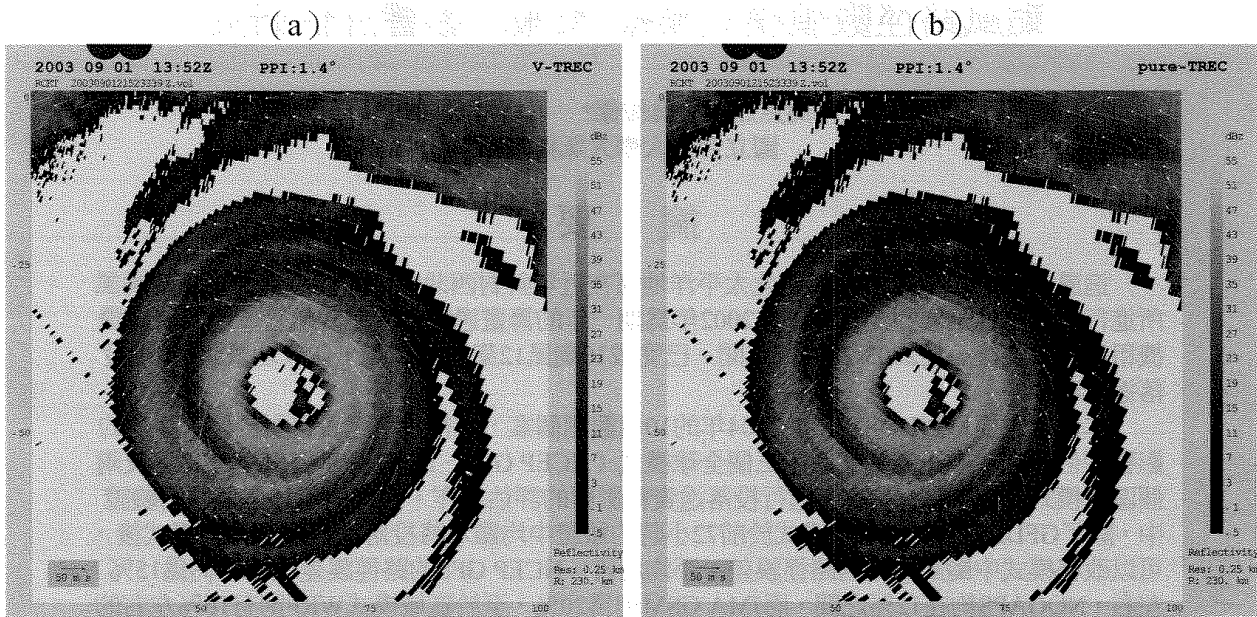


圖 3 杜鵑颱風內眼牆風場以 (a) M-TREC 法 (b) 傳統 TREC 方法之反演風場重疊 92 年 9 月 1 日 1352 回波強度。左下角箭頭代表 50 m/s

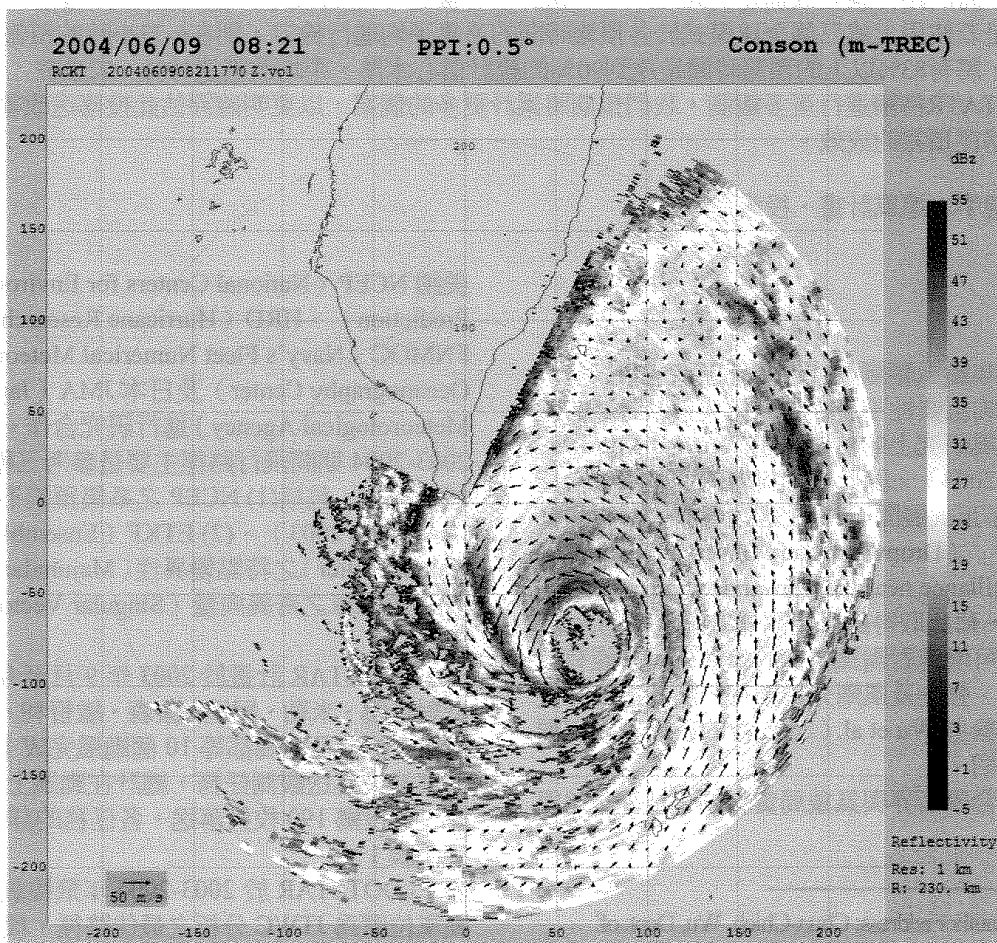


圖 4 以 M-TREC 法反演康森颱風風場重疊 93 年 6 月 9 日 0100 回波強度。左下角箭頭代表 50 m/s